

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Kependidikan

1. Pembelajaran Biologi di SMA

Dalam BSNP (2006: 30) proses pembelajaran adalah proses interaksi antara siswa dengan guru dan sumber belajar pada suatu lingkungan belajar, dan juga pembelajaran merupakan usaha sengaja, terarah, dan bertujuan oleh seseorang atau sekelompok orang agar orang lain dapat memperoleh pengalaman yang bermakna. Dalam proses pembelajaran terkandung pesan afektif, kognitif, dan psikomotorik. Pesan akan mudah ditangkap oleh siswa apabila tersajikan melalui media empiris yang beraneka ragam. Dari media inilah siswa terpacu untuk mengeluarkan ide, konsep, atau membantu mereka mencerna sesuatu yang abstrak. Media belajar yang baik yaitu media yang dapat membuat siswa lebih aktif dalam proses kegiatan belajar sesuai dengan tujuan Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP).

Pembelajaran biologi di Sekolah Menengah Atas (SMA) diharapkan dapat menjadi wahana bagi siswa untuk mempelajari diri sendiri dan alam sekitarnya serta prospek pengembangan lebih lanjut dalam penerapannya di kehidupan sehari-hari. Berdasarkan KTSP (BSNP, 2006: 452) mata pelajaran biologi dikembangkan melalui kemampuan berpikir analitis, induktif, dan deduktif untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan peristiwa alam sekitar dan penyelesaian masalah bersifat kualitatif dan kuantitatif dilakukan dengan menggunakan pemahaman dalam bidang

lainnya. Mata pelajaran biologi di SMA merupakan kelanjutan IPA di SMP yang menekankan pada fenomena alam dan penerapannya yang meliputi aspek-aspek sebagai berikut :

- a. Hakekat biologi, keanekaragaman hayati dan pengelompokkan makhluk hidup, hubungan antar komponen ekosistem, perubahan materi, dan energi, serta peranan manusia dalam keseimbangan ekosistem.
- b. Organisasi seluler, struktur jaringan, struktur dan fungsi organ tumbuhan, hewan, dan manusia serta penerapannya dalam konteks sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat.
- c. Proses yang terjadi pada tumbuhan, proses metabolisme, hereditas, ovulasi, bioteknologi, dan implikasinya pada sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat.

Pembelajaran biologi di Sekolah Menengah Atas (SMA) juga memperhatikan karakteristik perkembangan siswa. Dalam hal ini harus diperhatikan karena siswa mempunyai kemampuan berpikir yang berbeda antara satu siswa dengan lainnya.

2. Sumber Belajar

- a. Pengertian Sumber Belajar

Proses pembelajaran merupakan suatu sistem yang tidak terlepas dari komponen-komponen lain yang saling berinteraksi di dalamnya. Salah satu komponen dalam proses tersebut adalah sumber belajar. Sumber

belajar adalah semua objek yang dapat digunakan untuk memperoleh pengalaman belajar tentang permasalahan tersebut.

Menurut Suhardi (2007: 5) sumber belajar biologi adalah segala sesuatu, baik benda maupun gejalanya, yang dapat dipergunakan untuk memperoleh pengalaman dalam rangka pemecahan permasalahan biologi tertentu. Sumber belajar akan dapat digunakan apabila sumber belajar itu tersedia sebelum proses belajar mengajar berlangsung. Penggunaan sumber belajar merupakan komponen yang sangat penting dalam proses belajar mengajar, karena tanpa menggunakan sumber belajar maka pesan yang tersimpan dalam materi suatu pelajaran tidak akan diterima oleh siswa. Semakin banyak sumber belajar yang digunakan semakin banyak pula keterlibatan indera siswa dalam penerimaan pesan tersebut dan akan semakin banyak kesan dan pengalaman yang diserap oleh siswa.

b. Manfaat Sumber Belajar

Menurut Mulyasa (2007: 26) pemilihan suatu sumber belajar dapat dikaitkan dengan tujuan yang ingin dicapai dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, sumber belajar dipilih dan digunakan dalam proses belajar apabila sesuai dan menunjang tercapainya tujuan.

Menurut Nani Hartati (2011: 11) manfaat sumber belajar antara lain:

- 1) Memberikan pengalaman belajar secara langsung dan konkret kepada peserta didik, misal: karyawisata ke kebun raya, pantai dan kebun binatang.

- 2) Dapat menyajikan sesuatu yang tidak memungkinkan untuk dikunjungi atau dilihat secara langsung dan konkret, misal: denah, sketsa, foto.
- 3) Dapat menambahkan dan memperluas cakrawala sajian yang ada di dalam kelas, misalnya: denah dan foto.
- 4) Dapat memberikan data yang akurat dan terbaru, misal: jurnal penelitian.
- 5) Dapat membantu memecahkan masalah pendidikan (instruksional) baik dalam lingkup mikro maupun makro, misalnya: secara makro sistem belajar jarak jauh melalui modul, secara mikro pengaturan ruang lingkup (lingkungan) yang menarik.
- 6) Dapat memberikan motivasi yang positif apabila diatur dan direncanakan pemanfaatannya secara tepat.
- 7) Dapat merangsang untuk berpikir, bersikap, dan berkembang lebih lanjut.

c. Jenis-jenis Sumber Belajar

Menurut Nana Sudjana dan Ahmad Rivai (2007: 80) jenis-jenis sumber belajar antara lain sebagai berikut:

- 1) Sumber belajar cetak: buku, majalah, brosur, koran, poster, ensiklopedia, kamus, *booklet*, dan lain-lain.
- 2) Sumber belajar noncetak: film, *slides*, video, model, *audiocassette*, transparansi, dan lain-lain.

- 3) Sumber belajar berbentuk fasilitas: perpustakaan, ruangan belajar, studio, lapangan olahraga, dan lain-lain.
- 4) Sumber belajar berupa kegiatan: wawancara, kerja kelompok, observasi, simulasi, permainan, dan lain-lain.
- 5) Sumber belajar berupa lingkungan di masyarakat: taman, terminal, toko, pabrik, museum, dan lain-lain.

d. Syarat Sumber Belajar

Pada prinsipnya, setiap benda atau gejala dapat digunakan sebagai sumber belajar, tetapi pemanfaatannya secara efektif harus memperhatikan syarat-syarat tertentu. Syarat pemanfaatan sumber belajar harus didasarkan pada hal-hal:

- 1) Kejelasan potensinya.
- 2) Kesesuaian dengan tujuan.
- 3) Kejelasan dengan sasarannya.
- 4) Kejelasan informasi yang diungkap.
- 5) Kejelasan pedoman eksplorasinya.
- 6) Kejelasan perolehan yang diharapkan.

e. Pemanfaatan Hasil Penelitian sebagai Sumber Belajar

Menurut Suhardi (2007: 14-16) suatu hasil penelitian jika diangkat sebagai sumber belajar di SMA harus melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1) Identifikasi Proses dan Produk Penelitian

Untuk diangkat sebagai sumber belajar, hasil penelitian biologi harus dikaji berdasarkan kurikulum pendidikan biologi yang berlaku. Dari kajian ini akan dapat dilihat kejelasan potensi ketersediaan obyek dan permasalahan yang diangkat, kesesuaian dengan tujuan pembelajaran, sasaran materi dan peruntukannya, informasi yang diungkap, pedoman eksplorasi dan perolehan yang akan dicapai. Apabila dari segi persyaratan sudah dipenuhi, maka dilakukan pengkajian proses dan produk hasil penelitian yang relevan dengan permasalahan biologi di SMA. Dari segi proses dapat dijabarkan langkah-langkah kerja ilmiahnya, secara umum seperti berikut ini :

- a) Identifikasi dan perumusan masalah.
- b) Perumusan tujuan penelitian.
- c) Perumusan hipotesis.
- d) Penyusunan prosedur penelitian.
- e) Pelaksanaan kegiatan.
- f) Pengumpulan dan analisis data.
- g) Pembahasan hasil penelitian.
- h) Penarikan kesimpulan.

Dari segi produk penelitian, fakta hasil penelitian digeneralisasikan menjadi konsep.

2) Seleksi dan Modifikasi Proses dan Bentuk Penelitian sebagai Sumber Belajar di SMA

Ada dua hal yang perlu dipertimbangkan dalam rangka mengangkat proses dan produk penelitian sebagai sumber belajar. Kedua hal tersebut baru dilaksanakan setelah hasil penelitian memenuhi persyaratan sumber belajar. Penjelasan langkah seleksi dan modifikasi hasil penelitian adalah:

- a) Prosedur kerja penelitian harus disesuaikan dengan kegiatan pembelajaran khususnya kegiatan belajar yang dilakukan siswa, misalnya penyediaan obyek/media, dan pelaksanaan penelitian bagi siswa, apakah dilaksanakan di laboratorium sekolah atau di lapangan.
 - b) Produk penelitian yang berupa fakta dan konsep disesuaikan dengan konsep atau sub-konsep KTSP kurikulum biologi yang sedang berlaku di SMA.
- ## 3) Penerapan dan Pengembangan Hasil Penelitian sebagai Sumber Belajar Biologi

Penerapan hasil penelitian sebagai sumber belajar di SMA dapat diwujudkan ke dalam silabus, Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) atau ke dalam produk bahan ajar misalnya modul.

3. Bahan Ajar

a. Pengertian Bahan Ajar

Menurut Sungkono, Djauhar Sidik, dan Murti Kusuma Wirasti (2003: 1) bahan ajar adalah suatu perangkat bahan yang memuat materi atau isi pembelajaran untuk mencapai tujuan pembelajaran. Suatu bahan ajar memuat materi atau isi pelajaran yang berupa ide, fakta, konsep, kaidah atau teori yang tercakup dalam mata pelajaran sesuai dengan disiplin ilmunya serta informasi lainnya dalam pembelajaran. Dengan demikian bahan ajar memuat Tujuan Pembelajaran Umum (TPU), Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK), kegiatan pembelajaran, materi pelajaran, latihan atau tugas, evaluasi, dan umpan balik.

b. Karakteristik Bahan Ajar

Menurut Sungkono, Djauhar Sidik, dan Murti Kusuma Wirasti (2003: 3) bahan ajar memiliki karakteristik membelajarkan siswa secara mandiri (*self intructional*) artinya bahan ajar tersebut mempunyai kemampuan menjelaskan yang sejelas-jelasnya karena di dalam bahan ajar termuat hal-hal yang perlu dalam pembelajaran.

c. Jenis Bahan Ajar

Menurut Bandonono (2009) jenis bahan ajar antara lain:

- 1) Bahan ajar pandang (visual) terdiri atas bahan cetak (*printed*) seperti: handout, buku, modul, lembar kerja siswa, brosur, *leaflet*, foto atau gambar dan non-cetak (*non-printed*) seperti model atau maket.

- 2) Bahan ajar dengar (audio) seperti kaset, radio, piringan hitam dan *compact disk audio*.
- 3) Bahan ajar pandang dengar (audio visual) seperti *video compact disk* dan film.
- 4) Bahan ajar multimedia interaktif (*interactive teaching material*) seperti CAI (*Computer Assisted Instruction*), CD (*compact disk*), multimedia pembelajaran interaktif, dan bahan ajar berbasis web (*web based learning materials*).

d. Konsep Penyusunan Bahan Ajar

Menurut Chomsin S. dan Jasmadi (2008: 42) bahan ajar harus dikembangkan sesuai dengan kaidah-kaidah pengembangan bahan ajar. Rambu-rambu yang harus dipatuhi dalam pembuatan bahan ajar adalah:

- 1) Bahan ajar harus disesuaikan dengan siswa yang sedang mengikuti proses belajar-mengajar.
- 2) Bahan ajar diharapkan mampu mengubah tingkah laku siswa.
- 3) Bahan ajar yang dikembangkan harus sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik diri.
- 4) Di dalam bahan ajar telah mencakup tujuan kegiatan pembelajaran yang spesifik.
- 5) Bahan ajar memuat materi pembelajaran secara rinci, baik untuk kegiatan dan latihan.
- 6) Terdapat evaluasi sebagai umpan balik dan alat untuk mengukur tingkat keberhasilan siswa.

e. Peran dan Kedudukan Bahan Ajar dalam Pembelajaran

Menurut Sungkono, Djauhar Sidik, dan Murti Kusuma Wirasti (2003: 2) bahan ajar memiliki peran untuk mengintensifkan kegiatan siswa dalam pembelajaran, sehingga dengan adanya bahan ajar diharapkan hasil pembelajarannya akan lebih baik dari pada siswa yang hanya mendengarkan penjelasan dari guru. Bahan ajar mempunyai kedudukan sebagai pendukung bagi para siswa untuk belajar agar lebih baik.

Adapun peran bahan ajar bagi guru adalah sebagai berikut:

- 1) Menghemat waktu dalam belajar.
- 2) Mengubah perannya dari seorang pengajar menjadi seorang fasilitator.
- 3) Meningkatkan proses pembelajaran menjadi lebih efektif dan efisien.

Peran bahan ajar bagi siswa adalah membantu hal-hal sebagai berikut:

- 1) Belajar tanpa harus ada guru atau teman siswa yang lainnya.
- 2) Belajar sesuai dengan tempat dan waktu yang diinginkan.
- 3) Belajar sesuai dengan kecepatan masing-masing.
- 4) Belajar sesuai dengan urutan materi yang ia dikehendaki sendiri.

f. Keunggulan Bahan Ajar

Menurut Sungkono, Djauhar Sidik, dan Murti Kusuma Wirasti (2003: 4) Keunggulan bahan ajar antara lain: isinya lengkap, dapat digunakan secara klasikal, kelompok maupun perorangan. Jika digunakan secara perorangan (individual) bahan ajar dapat diulang-ulang sesuai kemampuan daya tangkap masing-masing. Bahan ajar bersikap lengkap

artinya sedikit/ tidak memerlukan sumber lain. Adanya bahan ajar dapat mengatasi keterbatasan atau ketiadaan buku di sekolah.

g. Bentuk Penyajian Bahan Ajar

Menurut Sungkono, Djauhar Sidik, dan Murti Kusuma Wirasti (2003: 4) bentuk penyajian bahan ajar bermacam-macam sesuai dengan perkembangan teknologi. Berbagai bentuk penyajian bahan ajar adalah modul, transparansi, kaset audio, audio-visual (misalnya *sound-slide*, program televisi, kaset atau CD audio-visual, dan film), dan pembelajaran berbantuan komputer (*Computer Aids Instruction*).

4. Modul

a. Pengertian Modul

Modul adalah suatu paket pengajaran yang memuat satu unit konsep dari pada bahan pelajaran. Modul merupakan salah satu bentuk bahan ajar yang dikemas secara utuh dan sistematis, di dalamnya memuat seperangkat pengalaman belajar yang terencana dan didesain untuk membantu siswa menguasai tujuan belajar yang spesifik. Modul minimal memuat tujuan pembelajaran, materi/substansi belajar, dan evaluasi. Modul berfungsi sebagai sarana belajar yang bersifat mandiri, sehingga siswa dapat belajar sesuai dengan kecepatan masing-masing.

b. Karakteristik Modul

Sesuai dengan pedoman penulisan modul yang dikeluarkan oleh Direktorat Pendidikan Menengah Departemen Pendidikan Nasional tahun

2003, maka modul yang dikembangkan harus mampu meningkatkan motivasi dan efektivitas penggunaanya.

Menurut Chomsin S. dan Jasmadi (2008: 50-52) penyusunan modul harus memperhatikan karakteristik modul yaitu *self instruction*, *self contained*, *stand alone*, *adaptif*, dan *user friendly*:

1) *Self Instruction*

Self instruction merupakan karakteristik penting dalam modul, dimana siswa mampu belajar secara mandiri dan tidak tergantung pada pihak lain. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan modul untuk memenuhi karakteristik *self instruction*, maka modul harus:

- a) Memuat tujuan pembelajaran yang jelas dan dapat menggambarkan pencapaian Standar Kompetensi dan Kompetensi Dasar.
- b) Memuat materi pembelajaran yang dikemas dalam unit-unit kegiatan yang kecil/spesifik, sehingga memudahkan dipelajari secara tuntas.
- c) Memberikan contoh-contoh dan ilustrasi yang menarik dan mendukung kejelasan pemaparan materi pembelajaran.
- d) Memberikan kemungkinan bagi siswa untuk memberikan umpan balik atau mengukur penguasaannya terhadap materi yang diberikan dengan memberikan soal-soal latihan, tugas, dan sejenisnya.

- e) Kontekstual, yaitu materi yang disajikan terkait dengan suasana, tugas atau konteks kegiatan, dan lingkungan siswa.
- f) Menggunakan bahasa yang sederhana dan komunikatif.
- g) Terdapat rangkuman materi pembelajaran untuk siswa membuat catatan.
- h) Terdapat instrumen penilaian, yang memungkinkan siswa melakukan penilaian mandiri (*self assessment*).
- i) Terdapat umpan balik atas penilaian siswa, sehingga siswa mengetahui tingkat penguasaan materi.
- j) Terdapat informasi tentang rujukan/pengayaan/referensi yang mendukung materi pembelajaran dimaksud.

2) *Self Contained*

Modul dikatakan *self contained* bila seluruh materi pembelajaran yang dibutuhkan termuat dalam modul tersebut. Tujuan dari konsep ini adalah memberikan kesempatan kepada siswa untuk mempelajari materi pembelajaran secara tuntas, karena materi belajar dikemas kedalam satu kesatuan yang utuh. Jika harus dilakukan pembagian atau pemisahan materi dari satu standar kompetensi/kompetensi dasar, harus dilakukan dengan hati-hati dan memperhatikan keluasan standar kompetensi/kompetensi dasar yang harus dikuasai oleh siswa.

3) Berdiri Sendiri (*Stand Alone*)

Stand alone atau berdiri sendiri merupakan karakteristik modul yang tidak tergantung pada bahan ajar/media lain atau tidak harus

digunakan bersama-sama dengan bahan ajar/media lain. Dengan menggunakan modul, siswa tidak perlu bahan ajar yang lain untuk mempelajari dan atau mengerjakan tugas pada modul tersebut. Jika siswa masih menggunakan dan bergantung pada bahan ajar lain selain modul yang digunakan, maka bahan ajar tersebut tidak dikategorikan sebagai modul yang berdiri sendiri.

4) Adaptif

Modul hendaknya memiliki daya adaptasi yang tinggi terhadap perkembangan ilmu dan teknologi. Dikatakan adaptif jika modul tersebut dapat menyesuaikan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta fleksibel/luwes digunakan di berbagai perangkat keras (*hardware*).

5) Bersahabat/Akrab (*User Friendly*)

Modul hendaknya juga memenuhi kaidah *user friendly* atau bersahabat/akrab dengan pemakainya. Setiap instruksi dan paparan informasi yang tampil bersifat membantu dan bersahabat dengan pemakainya, termasuk kemudahan pemakai dalam merespon dan mengakses sesuai dengan keinginan. Penggunaan bahasa yang sederhana, mudah dimengerti, serta menggunakan istilah yang umum digunakan, merupakan salah satu bentuk *user friendly*.

c. Komponen-komponen Modul

Menurut Sungkono, Djauhar Sidik, dan Murti Kusuma Wirasti (2003: 12-23) komponen-komponen modul mencakup: tinjauan mata

pelajaran, pendahuluan, kegiatan belajar, latihan, rambu-rambu jawaban latihan, rangkuman, tes formatif, dan kunci jawaban tes formatif.

1) Tinjauan Mata Pelajaran

Tinjauan mata pelajaran adalah paparan umum mengenai keseluruhan pokok-pokok isi mata pelajaran yang mencakup:

- a) Deskripsi mata pelajaran.
- b) Kegunaan mata pelajaran.
- c) Tujuan Pembelajaran Umum (TPU).

Tujuan pembelajaran atau tujuan belajar dirumuskan dalam bentuk tingkah laku yang operasional dan spesifik.

- d) Bahan pendukung lainnya.
- e) Petunjuk belajar.

Petunjuk belajar memuat antara lain: penjelasan tentang berbagai macam kegiatan yang harus dilakukan, alat-alat yang perlu disediakan, dan prosedur yang dilakukan.

2) Pendahuluan

Pendahuluan suatu modul merupakan pembukaan pembelajaran.

Oleh karena itu, pendahuluan memuat hal-hal sebagai berikut:

- a) Cakupan isi modul dalam bentuk deskripsi singkat.
- b) Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) sebagai sasaran belajar yang ingin dicapai melalui sajian materi dan kegiatan modul.

c) Deskripsi perilaku awal yang memuat pengetahuan dan ketrampilan yang sebelumnya sudah diperoleh atau dimiliki sebagai pijakan dari pembahasan modul itu.

d) Relevansi, terdiri atas:

(1) Keterkaitan pembahasan materi dan kegiatan dalam modul dengan materi dan kegiatan dalam modul lain dalam satu mata pelajaran atau dalam mata pelajaran.

(2) Pentingnya mempelajari materi modul itu dalam pengembangan dan pelaksanaan tugas guru secara profesional.

e) Urutan kegiatan belajar secara logis.

f) Petunjuk belajar berisi panduan teknis mempelajari modul itu agar berhasil dikuasai dengan baik.

Pendahuluan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

(1) Memenuhi dan merangsang rasa ingin tahu.

(2) Urutan sajian yang logis.

(3) Mudah dicerna dan dibaca.

3) Kegiatan Belajar

Kegiatan belajar merupakan inti dalam pemaparan materi pembelajaran. Bagian ini terbagi menjadi beberapa sub bagian yang disebut kegiatan belajar 1, kegiatan belajar 2, dan seterusnya yang memuat materi pelajaran yang harus dikuasai siswa. Materi disusun secara sistematis agar mata pelajaran mudah dipahami oleh siswa.

Dalam kegiatan belajar terdapat uraian atau penjelasan secara rinci tentang isi pelajaran yang diikuti dengan contoh-contoh yang konkrit dan non-contoh.

4) Latihan

Latihan adalah berbagai bentuk kegiatan belajar yang harus dilakukan oleh siswa setelah membaca uraian sebelumnya. Fungsi latihan untuk memantapkan pengetahuan, ketrampilan, nilai, dan sikap tentang fakta/data, konsep, prinsip, generalisasi/dalil, teori, prosedur, dan metode. Tujuan latihan ini agar siswa benar-benar belajar secara aktif dan menguasai konsep yang sedang dibahas dalam kegiatan belajar tersebut. Latihan dapat ditempatkan di sela-sela uraian atau di akhir uraian. Secara prinsip, latihan hendaknya:

- a) Relevan dengan materi yang disajikan.
- b) Sesuai dengan kemampuan siswa.
- c) Bentuknya bervariasi, misalnya tes, tugas eksperimen, dsb.
- d) Bermakna (bermanfaat).
- e) Menantang siswa untuk berpikir dan bersikap kritis.
- f) Penyajiannya sesuai dengan karakteristik setiap mata pelajaran.

Langkah-langkah yang harus ditempuh dalam menyajikan latihan adalah sebagai berikut:

- (1) Menentukan konsep, teori yang memerlukan latihan.
- (2) Mencari berbagai bentuk latihan yang sesuai.
- (3) Memilih bentuk latihan yang paling tepat.

- (4) Menentukan tehnik latihan yang paling tepat.
- (5) Menentukan bentuk latihan yang akan dilaksanakan.
- (6) Menentukan sasaran (individu atau kelompok).
- (7) Merumuskan bentuk latihan.
- (8) Membuat rambu-rambu pegerjaan latihan atau rambu-rambu jawaban latihan.

5) Rambu-rambu Jawaban Latihan

Rambu-rambu jawaban latihan merupakan hal-hal yang harus diperhatikan oleh siswa dalam mengerjakan soal-soal latihan. Kegunaan rambu-rambu jawaban latihan adalah untuk mengarahkan pemahaman siswa tentang jawaban yang diharapkan dari pertanyaan atau tugas dalam latihan yang mendukung tercapainya tujuan pembelajaran.

6) Rangkuman

Rangkuman adalah inti dari uraian materi yang disajikan pada kegiatan belajar suatu modul, yang berfungsi menyimpulkan dan memantapkan pengalaman belajar (isi dan proses) yang dapat mengkondisikan tumbuhnya konsep atau skema baru dalam pikiran siswa.

Rangkuman hendaknya memenuhi ketentuan:

- a) Berisi ide pokok yang telah disajikan.
- b) Disajikan secara berurutan dan ringkas.
- c) Bersifat menyimpulan.

- d) Dapat dipahami dengan mudah (komunikatif).
- e) Memantapkan pemahaman pembaca.
- f) Rangkuman di letakkan sebelum tes formatif pada setiap kegiatan belajar.
- g) Menggunakan bahasa Indonesia yang baku dan menggunakan kata-kata yang mudah dipahami.

Penulisan rangkuman sebaiknya mengikuti langkah-langkah:

- a) Identifikasi ide-ide pokok dari uraian materi.
- b) Mengurutkan ide-ide pokok secara logis dan sistematis.
- c) Menuliskan beberapa kesimpulan berdasarkan ide pokok dalam uraian materi.

7) Tes Formatif

Pada setiap modul selalu disertai lembar evaluasi (evaluasi formatif) yang biasanya berupa tes. Evaluasi ini dilakukan untuk mengukur apakah tujuan yang telah dirumuskan telah tercapai atau belum. Tes formatif merupakan tes untuk mengukur penguasaan siswa setelah suatu pokok bahasan selesai dipaparkan dalam satu kegiatan belajar berakhir. Tes formatif ini bertujuan untuk mengukur tingkat penguasaan siswa terhadap materi sesuai dengan TPK yang telah ditetapkan. Hasil tes formatif digunakan sebagai dasar untuk melanjutkan ke pokok bahasan selanjutnya.

Tes formatif secara prinsip harus memenuhi syarat-syarat:

- a) Mengikut TPK yang sudah dirumuskan.

- b) Materi tes benar dan logis, baik dari segi pokok masalah yang dikemukakan maupun dari pilihan jawaban yang ditawarkan.
- c) Pokok masalah yang ditanyakan cukup penting.
- d) Butir tes harus memenuhi syarat–syarat penulisan butir soal.
- e) Butir tes formatif ditulis dalam bentuk tes objektif, tes tersebut harus dibuat dalam pilihan ganda.
- f) Tes formatif yang dibuat dalam bentuk pilihan ganda minimal berjumlah 10 butir soal.
- g) Tes formatif yang dibuat dalam bentuk isian singkat minimal berjumlah 10 butir.

8) Kunci Jawaban Tes Formatif

Kunci jawaban tes formatif terletak di bagian paling akhir dalam modul. Tujuan agar siswa benar–benar berusaha mengerjakan tes tanpa melihat kunci jawaban terlebih dahulu. Lembar ini berisi jawaban dari soal–soal yang telah diberikan. Jawaban siswa terhadap tes yang ada diketahui benar atau salah dapat dilakukan dengan cara mencocokkannya dengan kunci jawaban yang ada pada lembar jawaban. Tujuannya agar siswa mengetahui tingkat penguasaannya terhadap isi kegiatan belajar tersebut. Di samping itu, pada bagian ini berisi petunjuk tentang cara siswa memberi nilai sendiri pada hasil jawabannya.

Kunci jawaban setiap butir tes objektif dalam tes formatif berbentuk:

- a) Huruf di depan pilihan yang benar.
- b) Ulasan mengapa jawaban tersebut benar dan mengapa yang lain salah. Ulasan ini sangat dibutuhkan siswa karena ia belum tentu memperoleh penjelasan tentang kunci jawaban tersebut.

9) Tindak Lanjut

Dalam kunci jawaban tes formatif, terdapat bagian tindak lanjut yang berisi kegiatan yang harus dilakukan siswa atas dasar tes formatifnya. siswa diberi petunjuk untuk melakukan kegiatan lanjutan, sebagai berikut: terus mempelajari kegiatan belajar berikutnya bila ia berhasil dengan baik, yaitu mencapai tingkat penguasaan 80% dalam tes formatif yang lalu, atau mengulang kembali dan mempelajari kegiatan belajar tersebut bila hasilnya masih di bawah 80% dari skor maksimum.

d. Kemasan Modul

Menurut Sungkono, Djauhar Sidik, dan Murti Kusuma Wirasti (2003:

23) kemasan modul mencakup:

1) Kata Pengantar

Kata pengantar adalah pengantar dari penulis atau penerbit yang memberikan gambaran mengenai alasan penerbitan atau penyusunan modul tersebut. Bagian ini digunakan sebagai identitas dari penulis atau penerbit.

2) Daftar Isi

Daftar isi adalah susunan modul secara keseluruhan beserta penyebutan halaman.

3) Glosarium/Daftar Kata-kata Sulit

Glosarium adalah kumpulan kata-kata sulit beserta penjelasannya yang disusun secara alfabetis. Glosarium harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a) Disusun secara alfabetis.
- b) Penjelasan diberikan sesuai dengan konteks pemakaian dalam bacaan/modul.

4) Daftar Pustaka

Daftar pustaka adalah daftar referensi yang menjadi pendukung dalam penyusunan modul.

e. Keunggulan Modul

Modul dirancang secara sistematis untuk membantu siswa secara individual dalam mencapai tujuan-tujuan pembelajaran, sehingga memungkinkan siswa belajar secara mandiri dan merupakan realisasi perbedaan individu serta perwujudan pengajaran individu.

Menurut Nasution (2008: 206-207) keunggulan pengajaran menggunakan modul bagi siswa antara lain:

- 1) Siswa dapat belajar secara mandiri dan belajar sesuai dengan kemampuannya masing-masing.
- 2) Penguasaan tuntas atau *mastery learning*.

- 3) Mempunyai tujuan yang jelas.
- 4) Memotivasi siswa untuk belajar lebih giat.
- 5) Fleksibel.
- 6) Mengembangkan kerjasama antar siswa maupun siswa dengan guru.
- 7) Pengajaran remedial.

Sedangkan keuntungan pengajaran modul untuk guru antara lain:

- 1) Memberikan rasa kepuasan.
- 2) Bantuan individual
- 3) Membebaskan dari rutinitas.
- 4) Mencegah dari kemubaziran.
- 5) Meningkatkan profesi keguruan.
- 6) Evaluasi formatif.

B. Tinjauan Keilmuan

1. Pencemaran Air

Menurut Sarjono (1995: 12) air merupakan lingkungan hidup yang penting bagi organisme akuatik, oleh karena itu perubahan-perubahan yang terjadi baik fisik maupun kimia sedikit banyak akan mempengaruhi kehidupannya. Pencemaran air adalah peristiwa masuknya zat atau komponen lain (polutan) ke dalam lingkungan perairan sehingga mutu airnya menurun dan membahayakan kehidupan dalam air dan serta konsumennya.

Menurut Slamet Prawirohartono (2004: 160) pencemaran air dapat terjadi pada air sumur, sumber mata air, sungai, bendungan, maupun air laut. Kualitas air di suatu ekosistem sangat penting bagi kehidupan, terutama bagi makhluk hidup di perairan. Jika suatu perairan tercemar, maka kehidupan di dalamnya dan makhluk hidup di sekitarnya akan terganggu. Bahan pencemar (polutan) tidak hanya diam di suatu tempat akan tetapi dapat menyebar ke tempat lain.

Menurut Wisnu Arya W (1995: 74-78) indikator atau tanda air lingkungan yang terkena cemar yaitu adanya perubahan atau tanda yang dapat diamati melalui: adanya perubahan suhu air; perubahan pH atau konsentrasi ion hidrogen; perubahan warna, bau, dan rasa air; timbulnya endapan, koloid, dan bahan terlarut; adanya mikroorganisme patogen; dan meningkatnya radioaktivitas air lingkungan.

a. Perubahan Suhu Air

Dalam proses kegiatan industri akan menimbulkan panas reaksi atau panas dari suatu gerakan mesin. Penghilangan panas dilakukan dengan proses pendinginan menggunakan air. Apabila air yang panas tersebut dibuang ke sungai maka suhu air sungai akan mengalami kenaikan. Perubahan suhu air sungai akan mengganggu kehidupan biota air dan organisme air lainnya karena kadar oksigen yang terlarut dalam air akan turun bersamaan dengan kenaikan suhu. Oksigen yang terlarut berasal dari udara yang terdifusi ke dalam air. Kenaikan suhu air yang semakin tinggi menyebabkan oksigen yang terlarut di dalam air semakin sedikit.

b. Perubahan pH atau Konsentrasi Ion Hidrogen

Air yang netral memiliki pH 7. Air yang memiliki $\text{pH} \leq 7$ bersifat asam, sedangkan air yang mempunyai $\text{pH} \geq 7$ bersifat basa. Air limbah dan bahan buangan dari industri yang dibuang ke sungai akan mengubah pH air dan pada akhirnya dapat mengganggu kehidupan organisme di dalam air maupun di sekitarnya.

c. Perubahan Warna, Bau, dan Rasa Air

Bahan buangan dan air limbah dari kegiatan industri yang berupa bahan organik dan anorganik seringkali larut dalam air sehingga air akan mengalami perubahan warna. Air bersih tidak berwarna, sehingga tampak bening dan jernih.

Timbulnya bau dari air lingkungan menjadi salah satu tanda terjadinya pencemaran air. Bahan buangan industri yang bersifat organik dan air limbah dari kegiatan industri pengolahan bahan makanan, sering menimbulkan bau yang menyengat. Mikroba di dalam air akan mengubah bahan buangan organik, terutama gugus protein menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau. Air bersih yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari yaitu tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Perubahan rasa pada air berasal dari garam-garam yang terlarut.

d. Timbulnya Endapan, Koloid, dan Bahan Terlarut

Endapan, koloid dan bahan terlarut berasal dari bahan buangan industri yang berbentuk padat. Jika bahan ini tidak dapat larut secara

sempurna maka akan mengendap di dasar sungai, sedangkan yang larut akan menjadi koloid. Endapan tersebut sebelum sampai ke dasar sungai akan melayang di dalam air bersama dengan koloid, sehingga menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam air. Sinar matahari sangat diperlukan oleh organisme untuk melakukan proses fotosintesis. Jika tidak ada sinar matahari maka proses fotosintesis tidak dapat berlangsung, akibatnya kehidupan organisme menjadi terganggu.

e. Adanya Mikroorganisme Patogen

Mikroorganisme sangat berperan dalam proses degradasi. Jika bahan buangan yang harus didegradasi banyak, maka mikroorganisme yang dibutuhkan juga banyak. Hal ini memungkinkan mikroorganisme berkembangbiak secara cepat. Pada saat mikroorganisme berkembangbiak tidak menutup kemungkinan mikroba patogen ikut berkembang pula. Mikroba patogen penyebab timbulnya berbagai macam penyakit.

f. Meningkatnya Radioaktivitas Air Lingkungan

Zat radioaktif dapat menyebabkan berbagai macam kerusakan biologis apabila tidak ditangani secara benar, maka tidak dibenarkan jika membuang sisa radioaktif ke lingkungan. Pembakaran batubara merupakan salah satu sumber yang dapat menaikkan radioaktivitas lingkungan.

Parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas air di antaranya adalah DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), dan jumlah total zat terlarut.

1) DO (*Dissolved Oxygen*)

DO (*Dissolved Oxygen*) adalah oksigen terlarut yang terkandung di dalam air. DO berasal dari udara dan hasil proses fotosintesis tumbuhan air. Oksigen diperlukan oleh semua makhluk yang hidup di air seperti ikan, udang, kerang dan hewan lainnya termasuk mikroorganisme seperti bakteri.

Kadar oksigen terlarut (DO) sebesar 5-7 ppm menunjukkan bahwa perairan tersebut berada dalam keadaan yang baik, sedang kadar di bawah 4 ppm menunjukkan bahwa perairan tersebut terkena pencemaran yang berat. Kadar oksigen terlarut (DO) dalam air dipengaruhi oleh suhu dan tekanan parsial gas yang ada di udara maupun dalam air, kadar garam serta adanya unsur-unsur atau senyawa yang mudah teroksidasi dan terdekomposisi. Penurunan kadar oksigen terlarut dapat disebabkan karena:

- a) Proses oksidasi (pembongkaran) bahan-bahan organik.
- b) Proses reduksi oleh zat-zat yang dihasilkan bakteri anaerob dari dasar perairan.
- c) Proses pernapasan organisme yang hidup di dalam air, terutama di malam hari.

2) BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Menurut Istamar Syamsuri dan Hadi Suwono (2004: 158) BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) atau kebutuhan oksigen biologis yaitu

banyaknya oksigen terlarut yang diperlukan mikroorganisme untuk memecah (mendegradasi) bahan organik. Bahan pencemar organik misalnya: daun, bangkai, dan sisa makana akan diuraikan oleh mikroorganisme air.

Mikroorganisme memerlukan oksigen untuk mengoksidasi zat-zat organik tersebut. Akibatnya, kadar oksigen terlarut di dalam air semakin berkurang. Air yang bersih BODnya kurang dari 1 mg/l atau 1 ppm, jika BODnya di atas 4 ppm, maka air dikatakan tercemar.

3) COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) atau kebutuhan oksigen kimia yaitu jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik dalam air melalui reaksi kimia.

4) Jumlah Total Zat Terlarut

Air alam mengandung zat padat terlarut yang berasal dari mineral dan garam-garam yang terlarut ketika airmengalir di bawah atau di atas permukaan tanah. Apabila air terkena cemaran limbah industri pertambangan dan pertanian, kandungan zat padat tersebut akan meningkat. Jumlah zat padat terlarut dapat digunakan sebagai indikator terjadinya pencemaran air. Selain jumlah, jenis zat pencemar juga menentukan tingkat pencemaran. Air yang bersih DOnya tinggi, sedangkan BOD dan zat padat terlarutnya rendah.

2. Sumber dan Penyebab terjadinya Pencemaran Air

Menurut Istamar Syamsuri dan Hadi Suwono (2004: 156) ditinjau dari sumber pencemarannya, pencemaran air dapat disebabkan oleh limbah pertanian, limbah rumah tangga, limbah industri, limbah minyak, dan limbah pertambangan.

a. Limbah Pertanian



Gambar 1. Petani sedang menyemprot tanaman padi menggunakan insektisida
(Sumber: Dokumen penelitian)

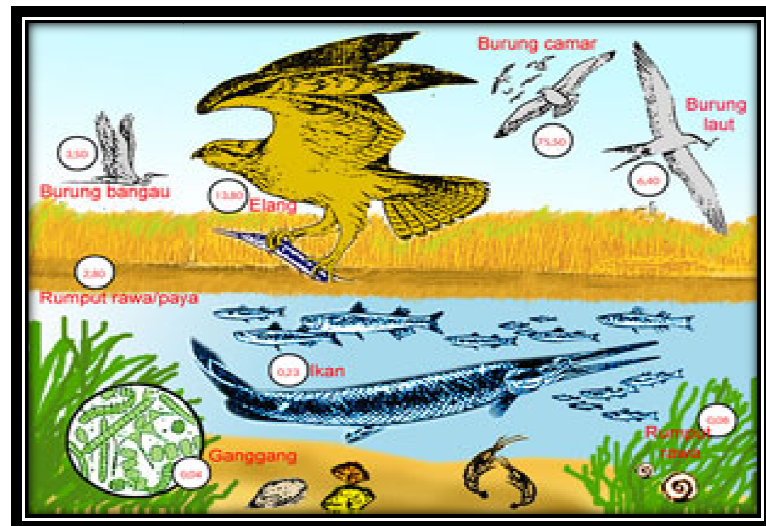
Limbah pertanian dapat mengandung polutan pestisida atau pupuk kimia. Menurut Wisnu Arya W (1995: 85) pemakaian insektisida pada lahan pertanian seringkali meliputi daerah yang luas, sehingga residu insektisida tersebut cukup banyak. Residu insektisida mencapai perairan melalui pengairan sawah, melalui air hujan yang jatuh pada daerah pertanian kemudian mengalir ke sungai atau danau di sekitarnya. Semua jenis bahan insektisida bersifat racun apabila mencapai perairan. Bahan insektisida dalam air sulit untuk didegradasi oleh mikroorganisme, walaupun bisa hal tersebut akan berlangsung dalam waktu yang lama.

Waktu yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi residu insektisida berselang antara beberapa minggu sampai dengan beberapa tahun. Bahan insektisida seringkali dicampur dengan senyawa minyak bumi, sehingga air yang terkena residu insektisida permukaannya akan tertutup lapisan minyak. Adanya lapisan minyak pada permukaan air, akan menyebabkan kandungan oksigen di dalam air menurun.

Penggunaan insektisida yang berlebihan dan terus menerus dapat mengganggu keseimbangan ekosistem, diantaranya mematikan makhluk hidup lainnya (organisme non-sasaran) dan hama akan kebal terhadap insektisida tersebut (resisten). Oleh karena itu, penggunaan insektisida harus sesuai aturan. Salah satu insektisida yang sangat berbahaya adalah DDT (*diklorodifenil trikloroetana*). Senyawa DDT tidak dapat terurai di alam. Insektisida DDT merupakan senyawa kimia yang tidak larut dalam air, tetapi dapat larut dalam minyak atau lemak. Ketika DDT disemprotkan pada serangga atau tanaman yang dimakannya, DDT tersebut dapat terakumulasi di dalam jaringan lemak serangga. Senyawa DDT dalam dosis besar dapat membunuh serangga, akan tetapi dalam dosis kecil serangga dapat mencerna dan menguraikan DDT tersebut.

Menurut Bagod Sudjadi dan Siti Laila (2007: 189-190) tubuh serangga dapat mengandung satu per satu juta (1 ppm) DDT, hal ini memiliki pengaruh yang luar biasa bagi hewan yang memakan serangga tersebut. Ketika suatu perairan disemprot dengan DDT yang konsentrasinya rendah, banyak jenis makhluk hidup yang

mengakumulasi bahan DDT di dalam tubuhnya. Organisme yang berada di puncak piramida makanan akan mengakumulasi DDT dalam jumlah besar. Di bawah ini gambar 2 tentang akumulasi konsentasi DDT pada tubuh makhluk hidup melalui jalur rantai makanan.



Gambar 2. Akumulasi konsentasi DDT pada tubuh makhluk hidup melalui jalur rantai makanan
(Sumber: Pustekom, 2005)

Ganggang dan protozoa dapat mengakumulasi bahan DDT dengan konsentrasi 250 kali lebih besar dari konsentrasi yang disemprotkan. Selanjutnya, ganggang dan protozoa dimakan oleh serangga dan serangga dimakan oleh katak, ikan, atau karnivor lainnya. Konsentrasi DDT di dalam tubuh katak dapat menjadi 2.000 kali dari konsentrasi yang disemprotkan dan dalam tubuh burung yang memakan katak dan ikan dapat mencapai 80.000 kali dari jumlah konsentrasi yang disemprotkan. Artinya, konsentrasi senyawa tersebut dapat mengalir dan meningkat melalui jalur rantai makanan.

Beberapa hewan pada tingkatan trofik yang lebih tinggi akan mati sebagai hasil akumulasi insektisida di dalam rantai makanan. Proses demikian dapat terjadi karena adanya peningkatan suatu zat (insektisida) di dalam tubuh makhluk hidup, yang biasa disebut *biological magnification* (akumulasi biologi). Jika pengaruh DDT tidak membunuh secara langsung, beberapa jenis burung seperti elang dan pelikan yang tingkat trofiknya lebih tinggi akan menyusut populasinya. Hal ini dapat terjadi karena DDT dalam organ tubuh betina dapat mempengaruhi pembentukan cangkang telur. Cangkang atau kulit telur yang dihasilkan menjadi tipis dan mudah pecah sehingga generasi elang dan pelikan tersebut terancam punah. DDT tidak hanya membunuh spesies yang khusus, tetapi juga membunuh serangga atau spesies lain yang menguntungkan.

Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan pada lahan pertanian dapat menyebabkan peningkatan kesuburan ekosistem perairan dan pencemaran air. Sebagian pupuk yang tidak diserap oleh tumbuhan akan terbangun bersama aliran air atau terbawa air hujan, sehingga masuk ke sungai, danau atau kolam. Keadaan demikian memungkinkan perairan tersebut kaya akan nutrisi. Akibatnya pertumbuhan ganggang dan tanaman air menjadi sangat cepat kemudian menutupi permukaan perairan dalam area yang cukup luas. Peristiwa ini disebut dengan *eutrofikasi*.

Eutrofikasi yaitu proses perkembangbiakan tanaman air secara cepat karena memperoleh zat makanan yang berlimpah dari pemupukan yang berlebihan. *Eutrofikasi* menyebabkan terhalangnya sebagian cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan sehingga menghambat proses fotosintesis fitoplankton dan produktivitas perairan lainnya. Apabila ganggang mati dan membusuk di dasar perairan, bakteri pembusuk kembali bekerja. Artinya, kebutuhan O_2 untuk menguraikan ganggang yang mati semakin meningkat. Kondisi demikian sangat merugikan bagi kehidupan makhluk hidup yang menghuni perairan tersebut dan dapat menyebabkan kematian. *Eutrofikasi* juga menimbulkan pendangkalan sungai, waduk atau danau sebagai akibat pengendapan ganggang dan tumbuhan air yang mati di dasar perairan. Gejala *eutrofikasi* dapat ditandai dengan adanya tumbuhan air, seperti ganggang atau alga dan eceng gondok yang tumbuh secara tidak terkendali (*blooming*). Di bawah ini adalah gambar 3 tentang *blooming* eceng gondok (*Eichornia crassipes*) di waduk Cengklik, Boyolali.



Gambar 3. Waduk Cengklik dipenuhi eceng gondok (*Eichornia crassipes*)
(Sumber: Landscape Indonesia, 2011)

Blooming eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang terjadi di waduk Cengklik menyebabkan daya tampung air di waduk menurun, meningkatkan *evapotranspirasi* (penguapan dan hilangnya air melalui daun-daun tanaman), menurunnya jumlah cahaya yang masuk ke dalam perairan sehingga DO menurun, mempercepat proses pendangkalan, mengganggu transportasi air, dan menurunkan nilai estetika lingkungan perairan.

b. Limbah Rumah Tangga

Kegiatan rumah tangga akan menghasilkan limbah, yang terdiri atas limbah padat dan limbah cair. Limbah padat di antaranya berupa: kertas, plastik, kaleng, aluminium, botol, dan bahan organik yang tidak terpakai misalnya: dedaunan, sisa sayur, ikan, dan nasi. Limbah cair berupa air buangan yang mengandung bahan detergen dan air buangan manusia.

Bahan pencemar lain dari limbah rumah tangga adalah pencemar biologis berupa: bakteri, dan jamur.

Pencemaran oleh limbah detergen dalam perairan akan menyebabkan matinya mikroorganisme pengurai sehingga sampah yang menumpuk dan tertimbun tidak cepat terurai. Hal ini menyebabkan tersumbatnya saluran air dan pendangkalan perairan sehingga menimbulkan banjir. Bahan organik yang larut dalam air akan mengalami penguraian dan pembusukan. Dalam proses tersebut, mikroorganisme pengurai dan pembusuk membutuhkan oksigen, oleh karena itu kadar oksigen di dalam air menjadi berkurang dan berakibat matinya biota air. Jika pencemaran bahan organik meningkat, kita dapat menemukan adanya cacing *Tubifek* berwarna merah bergerombol. Cacing ini merupakan petunjuk biologis (bioindikator) parahnya pencemaran oleh bahan organik dari limbah rumah tangga. Di bawah ini adalah gambar 4 tentang tumpukan sampah di tepi sungai Bogowonto.



Gambar 4. Tumpukan sampah di tepi sungai Bogowonto
(Sumber: Dokumen penelitian)

Tumpukan sampah yang ada di tepi sungai akan menimbulkan bau tidak sedap, merusak keindahan, dan dapat menyebabkan banjir jika sampah-sampah tersebut terbawa arus air.

c. Limbah Industri

Limbah industri berpotensi sebagai penyebab terjadinya pencemaran air. Pada umumnya limbah industri mengandung limbah B3, yaitu bahan berbahaya dan beracun. Menurut PP No 18 tahun 1999 pasal 1, limbah B3 adalah sisa suatu usaha atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan beracun yang dapat mencemari atau merusak lingkungan hidup sehingga membahayakan kesehatan serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk lainnya. Karakteristik limbah B3 adalah korosif (menyebabkan karat), mudah terbakar dan meledak, bersifat toksik (beracun) dan menyebabkan infeksi/penyakit.

Limbah industri atau pabrik mengandung berbagai macam zat berbahaya seperti logam dan cairan asam. Misalnya limbah yang dihasilkan industri pelapisan logam, yang mengandung tembaga dan nikel serta cairan asam sianida, asam borat, asam kromat, asam nitrat dan asam fosfat. Limbah ini bersifat korosif sehingga dapat mematikan tumbuhan dan hewan air. Pada manusia dapat menyebabkan iritasi pada kulit dan mata, mengganggu pernapasan dan menyebabkan kanker.

Logam yang paling berbahaya dari limbah industri adalah merkuri atau yang dikenal sebagai air raksa (Hg) atau air perak. Limbah yang mengandung merkuri selain berasal dari industri logam dapat juga berasal

dari industri kosmetik, batu baterai, plastik, penggilingan kertas dan sebagainya. Pada umumnya merkuri terakumulasi di dasar perairan, seperti sungai, danau, dan laut. Merkuri diuraikan menjadi metil merkuri oleh metan yang diproduksi oleh bakteri. Metil merkuri bersifat sangat beracun dan dapat diabsorpsi oleh makhluk hidup yang berada di perairan tersebut.

Pencemaran merkuri yang sangat terkenal yaitu kejadian di Teluk Minamata, Jepang. Pada tahun 1953-1960, lebih dari 100 orang meninggal atau cacat karena mengonsumsi ikan yang berasal dari Teluk Minamata. Teluk ini tercemar merkuri yang berasal dari pabrik plastik. Senyawa merkuri yang terlarut dalam air masuk melalui rantai makanan, senyawa tersebut masuk ke dalam tubuh mikroorganisme kemudian dimakan ikan selanjutnya dikonsumsi manusia. Bila merkuri masuk ke dalam tubuh manusia melalui saluran pencernaan, dapat menyebabkan kerusakan akut pada hati dan kerusakan pada sistem syarafnya.

Tembaga dapat masuk ke perairan atau sungai melalui pembuangan air limbah dari industri barang-barang elektronik. Tumbuhan dan ikan dapat mati pada kadar tembaga kurang dari 1 ppm. Ikan mengabsorpsi tembaga melalui insangnya. Di perairan yang kandungan oksigen terlarutnya rendah, gerakan membuka dan menutupnya insang berlangsung cepat. Dalam kondisi demikian, ikan-ikan akan cepat mati terkena cemaran tembaga.

Beberapa unsur logam berat seperti timbal (Pb), kadmium, dan air raksa sangat berbahaya jika masuk dalam tubuh manusia. Apabila limbah pabrik yang mengandung logam berat dibuang ke sungai, maka airnya akan

tercemar. Air sungai yang telah tercemar sangat membahayakan makhluk hidup di dalamnya, manusia dan makhluk lain yang mengkonsumsi air tersebut. Bila air sungai yang tercemar mengalir ke laut maka lautnya juga tercemar. Air sungai dan laut yang telah tercemar dapat masuk ke dalam tanah. Akibatnya air tanah juga terkena cemaran logam dari limbah industri. Apabila air tersebut sampai ke sumur-sumur masyarakat maka air untuk mandi, minum, mencuci dan lainnya juga akan tercemar. Di bawah ini gambar 5 tentang sungai yang terkena cemaran limbah industri!



Gambar 5. Air sungai Yangtze di Cina yang terkena cemaran limbah industri pengolahan plastik (Sumber: Vivanews, 2009)

Limbah cair yang dibuang ke sungai akan mengotori perairan, menimbulkan bau, permukaan air sungai tertutup minyak sehingga menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam perairan dan mengganggu kehidupan biota air.

d. Limbah Minyak

Minyak bumi merupakan bahan bakar utama pembangkit tenaga pada alat transportasi maupun industri. Dalam proses pengangkutan dan

pemanfaatannya, tidak sedikit minyak yang tumpah. Tumpahnya minyak dapat terjadi akibat kebocoran, kecelakaan, maupun tumpahan lainnya. Adanya lapisan minyak di permukaan laut menyebabkan oksigen tidak dapat berdifusi ke dalam air laut dan sinar matahari tidak mampu menembus seluruh permukaan laut sehingga fitoplakton tidak dapat berfotosintesis, pertukaran udaranya juga terganggu, akibatnya kehidupan di dalam air menjadi terganggu. Di bawah ini gambar 6 tentang seekor burung yang terjebak dalam lumpur minyak di Pulau Grand Terre Timur, Meksiko.



Gambar 6. Seekor burung yang terjebak dalam lumpur minyak di Pulau Grand Terre Timur, Meksiko
(Sumber: Riedel, Charlie. 2010)

Burung-burung yang terkena cemaran minyak atau terjebak lumpur minyak di Pulau Grand Terre Timur, Meksiko dalam kurun waktu yang singkat populasinya akan menurun karena burung tersebut terendam lumpur minyak sehingga tidak dapat menyelamatkan diri dan pada akhirnya akan mati.

e. Limbah Pertambangan

Limbah pertambangan seperti batubara biasanya tercemar asam sulfat dan senyawa besi, yang dapat mengalir ke luar daerah pertambangan. Air yang mengandung kedua senyawa ini dapat berubah menjadi asam. Bila air yang bersifat asam ini melewati daerah batuan karang/kapur akan melarutkan senyawa Ca dan Mg dari batuan tersebut. Di bawah ini adalah gambar 7 tentang salah satu pantai yang terkena dampak dari penambangan batubara.



Gambar 7. Pantai Bengkulu yang terkena cemaran batubara
(Sumber: Kompas, 2009)

Senyawa Ca dan Mg yang larut terbawa air akan memberi efek terjadinya air sadah yang tidak bisa digunakan untuk mencuci karena sabun tidak bisa berbuih. Limbah pertambangan yang bersifat asam dapat menyebabkan korosi dan melarutkan logam-logam sehingga air yang tercemar bersifat racun dan dapat memusnahkan kehidupan akuatik.

Pertambangan lain yang menghasilkan limbah berbahaya adalah pertambangan emas. Pertambangan emas menghasilkan limbah yang

mengandung merkuri. Di bawah ini adalah gambar 8 tentang air sungai di Taman Nasional Bogani Nani Wartabone, Gorontalo yang terkena cemaran limbah emas.



Gambar 8. Air sungai di Taman Nasional Bogani Nani Wartabone, Gorontalo yang terkena cemaran limbah emas.
(Sumber: Christopel, 2012)

Para penambang tradisional atau penambang emas tanpa izin menggunakan merkuri untuk memproses bijih emas. Para penambang ini umumnya kurang mempedulikan dampak limbah yang mengandung merkuri karena kurangnya pengetahuan yang dimiliki. Biasanya mereka membuang dan mengalirkan limbah bekas proses pengolahan ke selokan, parit, kolam atau sungai. Akibat penambangan emas di Taman Nasional Bogani Nani Wartabone, satwa endemik Anoa terancam mengalami kepunahan.

3. Dampak Pencemaran Air bagi Kehidupan

Pencemaran air berdampak negatif terhadap manusia dan lingkungannya. Dampak pencemaran air antara lain:

- a. Terganggunya lingkungan hidup, ekosistem, dan keanekaragaman hayati.
- b. Punahnya spesies.
- c. Hama menjadi kebal terhadap pestisida (resisten).
- d. Terjadi ledakan populasi ganggang dan tumbuhan air (*eutrofikasi*).
- e. Terjadi pendangkalan di dasar perairan.
- f. Timbulnya banjir, erosi, dan tanah longsor.
- g. Kekurangan sumber air bersih.
- h. Menimbulkan keracunan dan berbagai macam penyakit.
- i. Terjadi pemekatan hayati (proses peningkatan kadar bahan pencemar melewati tubuh makhluk hidup).

4. Penelitian “Toksisitas Insektisida Decis terhadap Mortalitas Ikan Nila Merah Strain Lokal Cangkringan”

a. Toksisitas

1) Pengertian Toksisitas

Menurut Djojosumarto (2006: 238-242) toksisitas adalah kemampuan molekul suatu bahan atau senyawa kimia untuk menimbulkan kerusakan pada saat molekul tersebut mengenai bagian dalam atau permukaan tubuh misalnya kulit dan bagian yang peka terhadapnya. Toksisitas dapat dibedakan menjadi 3 yaitu: toksisitas akut, toksisitas sub-kronik, dan toksisitas kronik.

Toksisitas akut merupakan pengaruh merugikan yang timbul setelah pemaparan dengan dosis tunggal suatu bahan kimia atau pemberian dosis ganda dalam waktu kurang dari 24 jam. Toksisitas akut dinyatakan dalam angka LD_{50} yaitu dosis yang bisa mematikan (*lethal dose*) 50% dari hewan uji.

Toksisitas sub-kronik merupakan pengaruh merugikan yang timbul akibat pemberian takaran harian berulang dari insektisida, bahan kimia, atau bahan lainnya, waktu pemaparannya berlangsung pendek, untuk hewan uji pemaparannya berlangsung 3 bulan.

Toksisitas kronik adalah pengaruh merugikan yang timbul akibat pemberian takaran harian berulang dari insektisida, bahan kimia, atau bahan lainnya, waktu pemaparannya berlangsung cukup lama. Pada hewan percobaan, periode pemaparannya berlangsung 2 tahun.

2) Faktor- faktor yang Mempengaruhi Toksisitas

Menurut Tandjung. H.S.D. (1993: 7) bahwa faktor lingkungan mempunyai pengaruh terhadap toksisitas suatu bahan toksik. Faktor-faktor lingkungan yang paling besar pengaruhnya antara lain:

a) Suhu air

Menurut Sarjono (1995: 12) perubahan temperatur akan mempengaruhi metabolisme dan konsumsi makan ikan. Suhu air mempunyai pengaruh yang besar terhadap pertukaran zat dari makhluk-makhluk hidup, reproduksi organisme serta faktor-faktor

ekologik lainnya. Suhu juga mempunyai pengaruh besar terhadap jumlah O_2 terlarut dalam air.

b) Derajat keasaman (pH)

Menurut Sarjono (1995: 12) pH dan bikarbonat merupakan tolak ukur kimia air yang dapat menentukan atau membatasi distribusi kehidupan organisme baik hewan maupun tumbuhan, dan dapat juga digunakan sebagai petunjuk untuk menyatakan baik buruknya keadaan air. Perubahan pH ke arah asam dapat menyebabkan toksisitas beberapa senyawa toksik.

Menurut Sukiya (1997: 16) hubungan antara pH dengan kehidupan ikan adalah sebagai berikut:

- (1) pH 4 akan membunuh ikan.
- (2) pH 6,5-9 baik untuk budidaya ikan di kolam.
- (3) pH lebih dari 9,5 ikan tidak berproduksi lagi.
- (4) pH 11 dapat membunuh ikan.

c) Oksigen terlarut (DO)

Oksigen terlarut (DO) adalah oksigen yang larut dalam air. Oksigen sangat diperlukan untuk pernapasan dan unsur yang utama bagi metabolisme ikan serta organisme perairan lainnya.

d) Karbondioksida (CO_2) bebas

Karbondioksida (CO_2) bebas dalam air terdapat dalam bentuk senyawa karbonat dan CO_2 agresif. Gas karbondioksida (CO_2) dalam air berasal dari difusi langsung dari udara bebas di

permukaan air, dekomposisi unsur-unsur organik, respirasi tumbuhan dan hewan akuatik, juga percampuran substansi yang mengandung karbondioksida (CO₂) (Sarjono, 1995: 13).

3) Jalur Masuk Zat Toksik ke dalam Tubuh Ikan

Menurut Martini (1998: 15-16), zat pencemar dapat masuk ke dalam tubuh ikan melalui:

a) Mulut

Saat ikan mengadakan respirasi, maka air bersama bahan pencemar akan masuk ke dalam rongga mulut, sehingga bahan pencemar akan menyebabkan kerusakan pada lapisan paling dalam (*tunika mukosa*). Bahan pencemar kemudian akan masuk ke *gastrointestinalis* sehingga akan terabsorpsi oleh sel-sel *epithelium intestinum* kemudian melalui sirkulasi akan sampai pada organ-organ yang dilalui darah termasuk hati.

b) Kulit

Kulit merupakan bagian terluar dari tubuh ikan sehingga bahan pencemar dapat langsung mengenai kulit dan merusak jaringan yang terdapat di bagian atasnya (proksimal).

c) Insang

Insang merupakan organ respiratorik yang paling awal bersentuhan dengan bahan pencemar yang masuk bersama air, maka zat toksik akan bereaksi langsung pada lapisan tipis (*lamella*)

dan masuk ke dalam pembuluh darah serta merusak jaringan yang akan dilaluinya.

b. Insektisida Decis

Insektisida Decis merupakan insektisida yang mengandung bahan aktif deltametrin 25 g/l, termasuk dalam golongan piretroid. Deltrametrin merupakan insektisida non-sistemik yang sangat kuat, memiliki efek melumpuhkan secara cepat (*knock-down*) yang sangat baik, serta bekerja sebagai racun kontak dan racun perut. Di bawah ini adalah gambar 9 tentang insektisida Decis yang digunakan untuk penelitian.



Gambar 9. Insektisida Decis yang digunakan untuk penelitian
(Sumber: Dokumen penelitian)

Semua piretroid merupakan racun yang mempengaruhi saraf serangga (racun syaraf) dengan berbagai macam cara kerja pada susunan syaraf sentral. Piretroid pada umumnya memiliki spektrum pengendalian yang luas (*broad spectrum*) dan efektif terhadap banyak spesies serangga.

Insektisida Decis bersifat racun kontak yang bekerja merusak sistem syaraf dengan menghambat enzim kholinesterase dalam tubuh serangga tersebut. Fungsi enzim kholinesterase adalah menghentikan aksi dari asetalkolin dengan jalan hidrolisis. Fungsi asetalkolin adalah sebagai penghantar impuls (transmitter). Inhibisi kolinesterase menyebabkan sel saraf tidak dapat menerima informasi, yang mengakibatkan terjadinya penumpukan asetalkolin, sehingga akan menyebabkan rangsangan yang terus menerus dan akan menimbulkan gejala syaraf.

c. Biologi Ikan Nila Merah Strain Lokal Cangkringan

Klasifikasi ikan Nila merah dalam kedudukannya pada sistematika (taksonomi hewan) adalah sebagai berikut:

Phylum : Chordata
 Sub phylum : Vertebrata
 Classis : Osteiches
 Sub classis : Acanthropterygii
 Ordo : Percomorphi
 Sub ordo : Percoidae
 familia : Cichlidae
 Genus : *Oreochromis*
 Spesies : *Oreochromis niloticus*

Di bawah ini adalah gambar 10 tentang ikan Nila merah strain Lokal Cangkringan yang digunakan untuk penelitian.



Gambar 10. Ikan Nila merah strain Lokal Cangkringan yang digunakan sebagai hewan uji (Sumber: Dokumen penelitian)

d. Mekanisme Peracunan Insektisida Decis ke dalam Tubuh Ikan Nila Merah Strain Lokal Cangkringan

Insektisida Decis digunakan sebagai pemberantas hama tanaman dengan cara disemprotkan pada tanaman. Insektisida Decis tersebut dapat masuk ke dalam lingkungan perairan dan berdampak pada organisme non-sasaran misalnya ikan. Insektisida Decis merupakan insektisida non-sistemik yang bersifat racun kontak dan racun perut. Ikan memakan makanan yang ada di perairan tersebut. Residu insektisida yang terdapat dalam air, akan masuk ke organ pencernaan ikan dan akan terabsorpsi oleh sel-sel *epithelium intestinum*, kemudian melalui sirkulasi akan sampai hepar melalui vena porta hepatica dan masuk ke sinusoid hepar. Apabila kadar toksiknya tinggi dan pendedahannya berlangsung lama maka hepar tidak mampu melakukan detoksifikasi racun sehingga menimbulkan kerusakan pada sel-sel hepar dan ada kemungkinan menyebabkan kematian pada ikan Nila (Wiyandani, 2008: 22).

5. Metode Penelitian “Toksistas Insektisida Decis terhadap Mortalitas Ikan Nila Merah Strain Lokal Cangkringan”

Populasi dalam penelitian ini yaitu ikan Nila merah strain Lokal Cangkringan yang diperoleh dari Balai Benih Ikan, Cangkringan, Sleman, Yogyakarta. Sampel penelitian sebanyak 450 ekor dengan berat tiap ikan 0,5-1 gram dan panjang 3 cm. Sampel diambil secara acak dari populasi yang ada. Penelitian ini dilakukan dalam 3 tahap yaitu: uji pendahuluan yang dilakukan selama 48 jam untuk mengetahui nilai ambang atas kadar LC_{100-24} jam dan nilai ambang bawah LC_{50-48} jam yang akan digunakan untuk penentuan konsentrasi pada uji toksistas. Nilai ambang baik ambang atas maupun ambang bawah diperoleh rumus dari Komisi Pestisida Deptan (1983). Konsentrasi pada uji toksistas yaitu: 0,27 ppm; 0,81 ppm; 1 ppm; 1,35 ppm; 2,4 ppm dan 0 ppm sebagai kontrol. Setiap perlakuan dilakukan 3 ulangan, masing-masing ulangan ada 10 ekor ikan uji. Uji toksistas dilakukan selama 96 jam. Data mortalitas yang diperoleh dari uji toksistas dihitung dengan analisis probit untuk memperoleh 10% dari LC_{50-48} jam sebagai konsentrasi perlakuan kadar aman. Uji kadar aman dilakukan selama 8 minggu. Analisis satu faktor untuk mengetahui pengaruh konsentrasi insektisida Decis terhadap mortalitas ikan uji, analisis independent *T-test* pada uji kadar aman dilakukan untuk mengetahui beda nyata konsentrasi perlakuan.

6. Hasil Penelitian “Toksistas Insektisida Decis terhadap Mortalitas Ikan Nila Merah Strain Lokal Cangkringan”

Untuk mengetahui toksistas insektisida Decis terhadap mortalitas ikan Nila Merah strain Lokal Cangkringan, cara kerja yang harus dilakukan yaitu:

a. Uji Pendahuluan

Langkah- langkah yang harus ditempuh dalam uji pendahuluan yaitu sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan 18 bak (ember) perlakuan dengan kapasitas 10 liter air dibagi dalam 6 perlakuan masing-masing terdiri dari 3 ulangan, kemudian diisi air sebanyak 10 liter.
- 2) Menambahkan insektisida Decis ke dalam bak (ember) yang berisi air 10 liter dengan berbagai konsentrasi larutan uji yang digunakan adalah sebagai berikut: 0 ppm, 0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm dan 100 ppm.
- 3) Memasukkan 10 ekor ikan Nila ke dalam setiap bak (ember) perlakuan.
- 4) Mengamati dan mencatat data mortalitas ikan uji per 24 jam selama 48 jam perlakuan.
- 5) Berdasarkan uji pendahuluan maka akan didapatkan nilai ambang atas dan nilai ambang bawah, sebagai penentuan konsentrasi larutan uji pada uji toksistas. Penentuan konsentrasi larutan uji dengan mengacu pada ketentuan Komisi Pestisida Deptan dengan formula:

$$\text{Log } N/n = k (\log a/n)$$

Dimana N = konsentrasi ambang atas

n = konsentrasi ambang bawah

a = nilai terkecil dalam deret

k = jumlah konsentrasi yang diuji

b. Uji Toksisitas

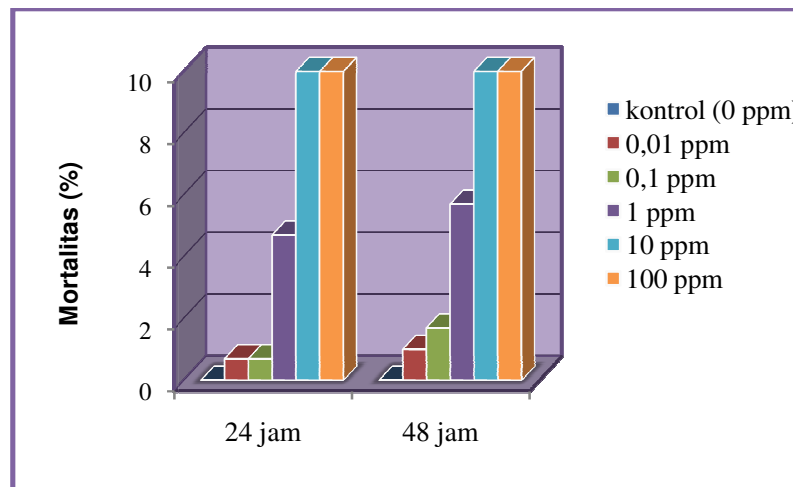
- 1) Berdasarkan nilai ambang atas dan ambang bawah, kemudian menentukan 5 variasi konsentrasi perlakuan berdasarkan rumus dari Komisi Pestisida Deptan.
- 2) Menyiapkan 18 bak (ember) perlakuan dengan kapasitas 10 liter air dibagi dalam 6 perlakuan masing-masing terdiri dari 3 ulangan, kemudian diisi air sebanyak 10 liter.
- 3) Memasukkan 10 ekor ikan Nila ke dalam setiap bak (ember) perlakuan.
- 4) Mengamati dan mencatat data mortalitas ikan uji per 24 jam, selama 96 jam perlakuan (data kumulatif 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam).
- 5) Menghitung LC_{50-48} Jam dan LC_{50-96} jam menggunakan analisis Probit.

Hasil Penelitian Toksisitas Insektisida Decis terhadap Mortalitas Ikan Nila Merah Strain Lokal Cangkringan yaitu sebagai berikut:

a. Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan untuk memperoleh nilai ambang atas kadar (LC_{100} -24 jam) dan nilai ambang bawah kadar (LC_0 -48 jam) yang akan digunakan untuk penentuan konsentrasi pada uji toksisitas terhadap ikan Nila. Uji pendahuluan menggunakan konsentrasi bertingkat mulai dari 0 ppm (sebagai kontrol), 0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm, dan 100 ppm. Konsentrasi ambang atas dapat diartikan sebagai kisaran konsentrasi insektisida terkecil yang dapat menyebabkan ikan uji mati seluruhnya, sedangkan konsentrasi ambang bawah dapat diartikan sebagai konsentrasi di mana ikan uji tidak ada yang mati.

Uji pendahuluan dilakukan selama 48 jam. Mortalitas ikan Nila pada uji pendahuluan dapat dilihat pada gambar 11 berikut ini:

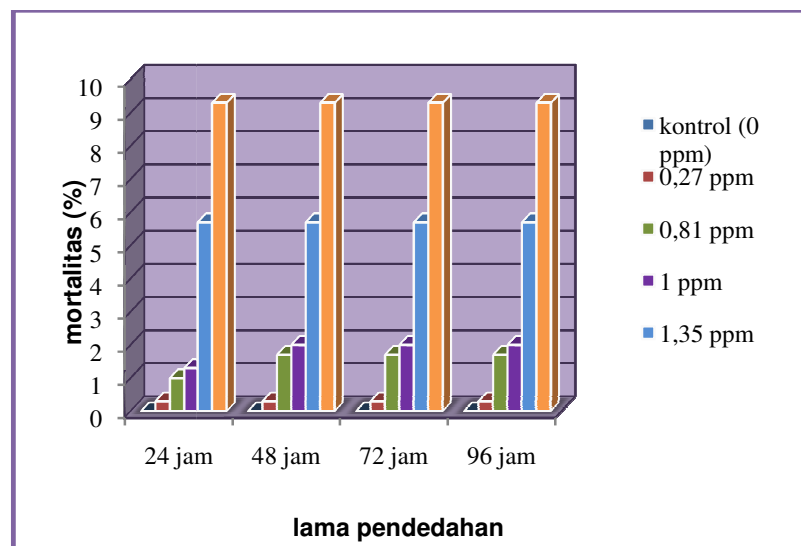


Gambar 11. Histogram mortalitas ikan Nila pada uji pendahuluan dalam berbagai konsentrasi insektisida Decis
(Sumber: Dokumen penelitian)

Berdasarkan hasil dari uji pendahuluan, maka nilai kadar ambang bawah (LC_{0-48} jam) adalah 0,01 ppm karena setelah 24 jam tidak ada respon kematian ikan uji, sedangkan untuk kadar ambang atas (LC_{100-24} jam) adalah 1 ppm karena setelah 48 jam terjadi respon kematian ikan uji sebanyak 100%.

b. Uji Toksisitas

Hasil perhitungan dengan rumus Komisi Pestisida Deptan diperoleh variasi konsentrasi insektisida Decis untuk uji toksisitas yaitu 0,27 ppm, 0,81 ppm, 1 ppm, 1,35 ppm, 2,4 ppm dan 0 ppm sebagai kontrol. Mortalitas ikan Nila pada uji toksisitas dalam berbagai konsentrasi insektisida Decis dapat dilihat pada gambar 12 berikut ini:



Gambar 12. Histogram mortalitas ikan Nila pada uji toksisitas dalam berbagai konsentrasi insektisida Decis
(Sumber: Dokumen penelitian)

Hasil analisis probit pada uji toksisitas insektisida Decis terhadap ikan Nila diperoleh LC_{50-48} jam adalah 0,130 ppm dengan batas terendah adalah 0,109 ppm dan batas tertinggi adalah 0,222 ppm. Nilai LC_{50-96} jam adalah 0,129 ppm dengan batas terendah adalah 0,149 ppm dan batas tertinggi adalah 0,283 ppm. Berdasarkan analisis probit tersebut konsentrasi perlakuan yang digunakan untuk uji kadar aman adalah 10% dari LC_{50-48} jam yaitu 0,130 ppm.

Hasil analisis probit dari LC_{50-96} jam yaitu 0,129 ppm digunakan untuk mengklasifikasikan bahan uji sesuai dengan tingkat toksisitas relatifnya. Hasil analisis probit dari LC_{50-96} jam yaitu 0,129 ppm bila dibandingkan dengan skala Loomis maka tingkat daya racun deltametrin dari insektisida Decis bersifat luar biasa toksik karena nilai LC_{50-96} jam kurang dari 1 ppm. Nilai LC_{50-48} jam jika dibandingkan dengan nilai LC_{50-96} jam hasilnya lebih tinggi, hal tersebut menunjukkan bahwa dalam waktu yang relatif singkat toksisitas insektisida Decis dapat menimbulkan kematian ikan uji. Bahan aktif deltametrin dapat masuk melalui saluran pencernaan, pernafasan, mulut dan kulit sehingga deltametrin tersebut terakumulasi yang pada akhirnya dapat merusak fungsi fisiologik organ ikan uji hingga menimbulkan kematian ikan uji.

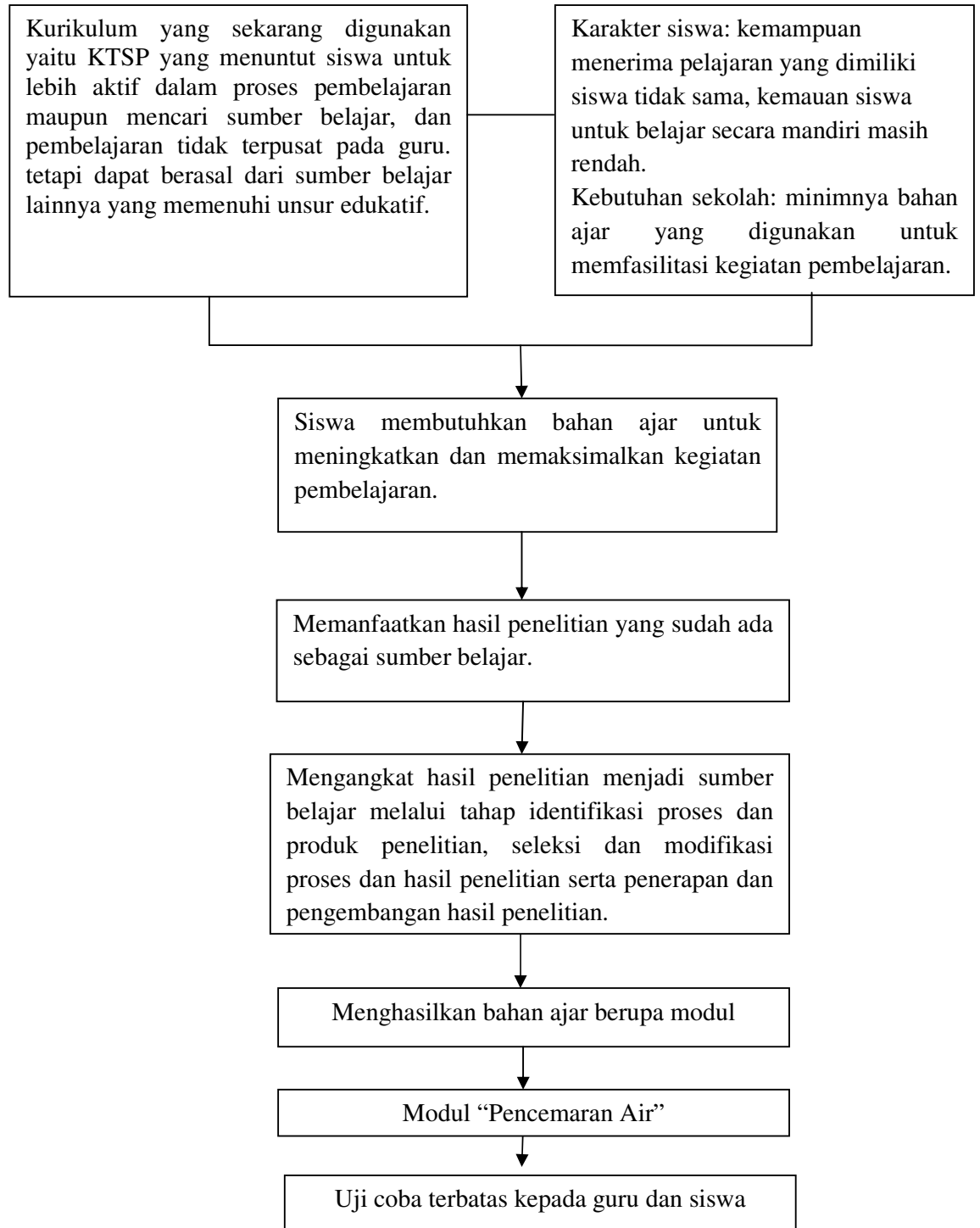
7. Kerangka Berpikir

Proses pembelajaran (proses belajar mengajar) biologi sebagai suatu sistem, pada prinsipnya merupakan kesatuan yang tidak terpisahkan antara komponen-komponen: *raw input* (siswa), *instrumental input* (masukan instrumental), *environment* (lingkungan) dan *outputnya* (hasil keluaran). Proses belajar pada hakekatnya merupakan interaksi antara sumber belajar dengan objek yang dipelajari.

Kurikulum yang digunakan sekarang ini adalah Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP). Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP) memberikan keleluasaan (otonomi) kepada setiap lembaga pendidikan yaitu sekolah untuk mengembangkan kurikulum sesuai dengan kemampuan dan potensi yang ada di daerah sekitar. Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP) mempunyai karakteristik antara lain menuntut siswa untuk lebih aktif dalam proses pembelajaran, aktif dalam mencari sumber belajar, dan pembelajaran tidak terpusat pada guru, tetapi dapat berasal dari sumber belajar lainnya yang memenuhi unsur edukatif.

Hasil dari analisis karakter siswa diketahui bahwa kemampuan menerima pelajaran yang dimiliki siswa tidak sama antara siswa satu dengan lainnya, kemauan siswa untuk belajar secara mandiri masih kurang, dan siswa lebih senang jika proses belajarnya di luar kelas sedangkan hasil dari analisis kebutuhan sekolah yang dilakukan yaitu masih minimnya sumber belajar yang digunakan untuk memfasilitasi kegiatan pembelajaran.

Dalam proses pembelajaran biologi, sumber belajar biologi dapat diperoleh dari hasil penelitian. Hasil penelitian biologi dapat diangkat menjadi sumber belajar dan dikemas menjadi bahan ajar dalam bentuk modul setelah melalui beberapa tahap yaitu proses identifikasi, seleksi dan modifikasi serta penerapan dan pengembangan hasil penelitian. Penelitian yang sudah ada mempunyai potensi sebagai sumber belajar. Modul memiliki beberapa keuntungan yang dapat membantu siswa belajar sehingga meningkatkan pemahaman siswa tentang materi yang diajarkan dan dapat juga digunakan dalam pembelajaran secara mandiri. Bahan ajar yang berupa modul kemudian diuji cobakan secara terbatas kepada guru dan siswa. Skema kerangka berpikir disajikan dalam gambar 13 berikut ini:



Gambar 13. Skema kerangka berpikir